

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : <p style="text-align: center;"><b>G01S 7/40, 13/58</b></p>	<b>A1</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 98/38523</b>  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 3. September 1998 (03.09.98)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/00418 (22) Internationales Anmeldedatum: 13. Februar 1998 (13.02.98)  (30) Prioritätsdaten: 197 08 241.6      28. Februar 1997 (28.02.97)      DE  (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).  (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VOSSIEK, Martin [DE/DE]; Adelheidstrasse 10, D-80789 München (DE). HEIDE, Patric [DE/DE]; Tannenstrasse 23a, D-85579 Neubiberg (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.                  Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	

(54) Title: DISTANCE AND SPEED MEASURING METHOD AND DEVICE

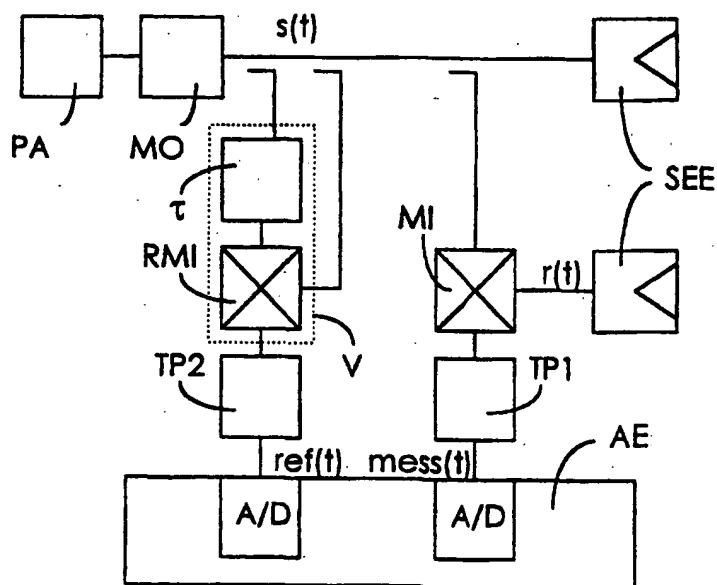
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ENTFERNUNGS- UND GESCHWINDIGKEITSMESSUNG

(57) Abstract

The invention relates to a FMCW system wherein a send signal with nonlinear phase response is used and the phase response of the measuring signal is corrected in more than one way provided that the measured object has a given speed in each case. A set of differently corrected measuring signals for varying speed hypothesis can thus be obtained. Frequency analysis is performed for each correction. The speed hypothesis leading to the purest and clearest frequency spectrum provides the actual speed of the measured object. A reference signal can be used for correction purposes, said reference signal being generated by mixing the send signal with the time-delayed send signal.

(57) Zusammenfassung.

Bei einem FMCW-System wird ein Sendesignal mit nichtlinearem Phasenverlauf verwendet und der Phasenverlauf des Meßsignals auf mehrere verschiedene Weisen korrigiert unter der Annahme, das Meßobjekt besitze eine jeweilige vorgegebene Geschwindigkeit. Man erhält so einen Satz von unterschiedlich korrigierten Meßsignalen zu verschiedenen Geschwindigkeitshypothesen. Zu jeder Korrektur wird eine Frequenzanalyse durchgeführt. Die zu dem reinsten und am deutlichsten ausgeprägten Frequenzspektrum führende Geschwindigkeitshypothese gibt die tatsächliche Geschwindigkeit des Meßobjektes. Für die Korrektur wird z.B. ein Bezugssignal verwendet, das durch Mischen des Sendesignales mit dem zeitverzögerten Sendesignal erzeugt wird.



Best Available Copy

# LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland		
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

## Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Entfernung- und Geschwindigkeitsmessung

- 5 Zur Messung von Entfernungen und Geschwindigkeiten sind FMCW-Sensorsysteme (frequency modulated continuous wave) gebräuchlich. Ein Prinzipschaltbild eines solchen FMCW-Sensors (ausgeführt als FMCW-Radar-Sensor) zeigt Fig. 3. Als Signal-
- 10 quelle wird ein frequenzmodulierbarer Oszillator MO verwendet. Die Frequenz dieses Oszillators wird über eine Ansteuerungseinheit PA zeitabhängig verstimmt. Das Modulationssignal ist bei konventionellen FMCW-Sensoren so zu wählen, daß die Frequenzmodulation des Oszillators möglichst linear erfolgt. Der
- 15 Sensor strahlt über die Sende- und Empfangseinrichtung SEE das Sendesignal  $s(t)$  ab und empfängt ein entsprechend der Laufzeit zum Meßobjekt zeitverzögertes Empfangssignal  $r(t)$ . Eine Trennung von Sendesignal und Empfangssignal bei einem monostatischen System mit nur einer Sende- und Empfangs-
- 20 einrichtung wird zum Beispiel durch eine Sende- und Empfangsweiche SEW bewirkt. Dafür kann z. B. ein Zirkulator oder ein Richtkoppler verwendet werden. Bei einem bistatischen System, das über getrennte Sende- und Empfangseinrichtungen verfügt, wird die Sende- und Empfangsweiche weggelassen. Das Meßsignal
- 25  $mess(t)$ , das dem Mischprodukt (Differenzfrequenz) aus Sendesignal  $s(t)$  und Empfangssignal  $r(t)$  entspricht, wird mit einem Tiefpaßfilter TP gefiltert. Die Information über den zu messenden Abstand ist bei einem derartigen Sensor proportional zu der Frequenz (bzw. dem Phasenhub) des Meßsignals
- 30  $mess(t)$ . Derartige Systeme sind z. B. in der Veröffentlichung von A. G. Stove, „Linear FMCW radar techniques“, IEEE Proc. F, Radar Signal Processing, Bd. 139, S. 343-350 (1992) beschrieben.

Bewegt sich das Objekt, so wird der entfernungsabhängigen Frequenz des Meßsignales eine zusätzliche Dopplerfrequenz überlagert. Die Frequenz des Meßsignales verschiebt sich zu höheren oder zu niedrigeren Frequenzen hin, je nachdem, in welche Richtung die Frequenz des Sendesignales durch die Modulation verstimmt wird (von niedriger [Sende-]Frequenz zu hohen Frequenzen oder umgekehrt). Durch Auswerten des Spektrallinienpaares, das man aus zwei Messungen mit unterschiedlicher Richtung des Durchstimmens (sweep) der Sendefrequenz erhält, lassen sich die Entfernung und die Geschwindigkeit eines Meßobjektes bestimmen. Sind mehrere Objekte vorhanden und haben diese Objekte insbesondere große Geschwindigkeiten relativ zu dem Sensor, kann die Zuordnung der Spektrallinienpaare zu den jeweiligen Objekten sehr schwierig sein.

Für eine gute Funktionsweise ist es erforderlich, daß die Frequenzmodulation exakt linear erfolgt und das Phasenrauschen des HF-Oszillators gering ist. In der DE 195 33 124 ist ein FMCW-Sensorsystem beschrieben, bei dem Phasenfehler unter Verwendung eines Bezugssignales korrigiert werden (s. auch die Veröffentlichung von M. Vossiek, P. Heide, M. Nalezinski, V. Mágori, "Novel FMCW radar system concept with adaptive compensation of phase errors," 26th European Microwave Conference, Prague, Czech Republic, 9.-12. Sept. 1996, S. 135-139). Zur Erzeugung des Bezugssignales sind eine Verzögerungsleitung und ein weiterer Mischer vorgesehen.

Des weiteren sind Sensorkonzepte zur Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung bekannt, die modulierte pulsformige Sendesignale benutzen und bei denen die Auswertung der Empfangssignale auf Schemata zur Zeit-Frequenz-Analyse beruht (F. Hlawatsch, G. F. Boudreaux-Bartles, „Linear and Quadratic Time-Frequency Signal Representation“, IEEE SP Magazine, April 1992). Beispielsweise wird hierzu ein geeignet kodiertes Signal ausgesendet, welches vom Objekt reflektiert und

3

anschließend von Sensorsystem empfangen wird. Durch Korrelation des Empfangssignals mit einem Satz von Bezugssignalen, die in der Kodierung dem Sendesignal entsprechen, aber unterschiedlich frequenzverschoben sind, lassen sich Entfernung und Geschwindigkeit ableiten.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung anzugeben, mit dem die Entfernung und die Geschwindigkeit eines oder mehrerer Objekte sehr genau gleichzeitig bestimmt werden können. Außerdem soll eine Vorrichtung zur Ausführung dieses Verfahrens angegeben werden.

Diese Aufgabe wird mit dem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und mit der Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 6 gelöst. Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden Sendesignale verwendet, die einen deutlich nichtlinearen Phasenverlauf aufweisen. Durch geschwindigkeitsabhängigen Abgleich des Phasenverlaufes und Bewerten der Ergebnisse werden gleichzeitig Entfernung und Geschwindigkeit der Meßobjekte bestimmt. Ein Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß Einflüsse, die einen nichtlinearen Phasenverlauf verursachen (z.B. Nichtlinearitäten der Modulationskennlinie und Phasenrauschen des Oszillators) und die bei konventionellen FMCW-Systemen stark stören, zu einer Kodierung der Signale und basierend darauf zu einer eindeutigen Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung genutzt werden. Hierdurch ist es möglich, auch Oszillatoren einzusetzen, die infolge eines einfachen Aufbaues des Systems nicht ideal linear moduliert werden oder nicht linear moduliert werden können. Der erforderliche Rechenaufwand bei der Auswertung von Meßsignalen ist gegenüber konventionellen Schemata zur Zeit-Frequenz-Analyse vergleichsweise gering.

Aufgrund der Zeitverzögerung  $\tau$ , die die vom Meßobjekt reflektierten Empfangssignale gegenüber dem von einem FMCW-Sensorsystem ausgesandten Sendesignal aufweisen, entsteht bei einem linearen Durchstimmen der Frequenz (sweep) als Mischprodukt eine konstante, zur Entfernung proportionale Frequenz  $f_i$  bzw. ein linear ansteigender Phasenhub. Bei der Betrachtung eines nichtlinearen Sweeps wird davon ausgegangen, daß der lineare Sweep mit der Basiskreisfrequenz  $\omega_0$  und einer Sweep-Rate  $\mu = 2\pi df/dt$  um einen Phasenfehler  $\Delta\phi$  von einer idealen Phasenlinearität abweicht, so daß das Sendesignal

$$s(t) = \cos\left[\left(\omega_0 + \frac{\mu \cdot t}{2}\right) \cdot t + \Delta\phi(t)\right] \text{ ist und das Empfangssignal}$$

$$r(t) = \cos\left[\left(\omega_0 + \frac{\mu \cdot (t + \tau)}{2}\right) \cdot (t + \tau) + \Delta\phi(t + \tau)\right] \text{ ist. Das Mischprodukt von}$$

$s(t)$  und  $r(t)$  ergibt abgesehen von einer Phasenkonstanten und unter Vernachlässigung höherfrequenter Mischprodukte (die vorzugsweise durch ein Tiefpaßfilter unterdrückt werden) im wesentlichen das Meßsignal

$$mess(t) = \cos[\mu \cdot \tau \cdot t + \Delta\phi(t + \tau) - \Delta\phi(t)].$$

Geht man davon aus, daß die Phasenfehler im Intervall  $\tau$  näherungsweise lineare Funktionen der Zeit sind und die Phase sich in der Signallaufzeit nur wenig ändert (relativ langsamer Sweep im Vergleich zu der Laufzeit des Signales), kann  $\Delta\phi(t + \tau) = \Delta\phi(t) + \tau \cdot d\Delta\phi/dt$  gesetzt werden.

Die ideale Signalfrequenz  $f_i = \mu\tau(2\pi)^{-1}$  wird jeweils zum Zeitpunkt  $t$  um  $\Delta\Phi(t, \tau) = \tau \cdot \frac{d}{dt}[\Delta\phi(t)]$  verzerrt. Die Verzerrung der Signalfrequenz steigt proportional zu der Signallaufzeit an.

Sind die Phasenfehler  $\Delta\phi(t)$  a priori bekannt, ergibt sich  $\Delta\Phi(t, \tau)$  aus dieser Gleichung. Ist  $\Delta\Phi(t, \tau)_{ref}$  für eine beliebige Bezugsdistanz  $s_{ref}$  (mit der zugehörigen Signallaufzeit

$\tau_{ref}$ ) z.B. aus einer Bezugsmessung bekannt, so sind daraus

5

auch die Phasenfehler für beliebige Meßdistanzen  $s_{\text{mess}}$  (mit der zugehörigen Signallaufzeit  $\tau_{\text{mess}}$ ) gemäß

$$\Delta\Phi(t, \tau)_{\text{mess}} = \Delta\Phi(t, \tau)_{\text{ref}} \cdot \frac{\tau_{\text{mess}}}{\tau_{\text{ref}}} \text{ ableitbar.}$$

Die Phase  $\varphi(t)_{\text{mess}}$  des Meßsignals ist daher proportional zur

5  $\text{Signallaufzeit gemäß } \varphi_{\text{mess}}(t) = \varphi_{\text{ref}}(t) \cdot \frac{\tau_{\text{mess}}}{\tau_{\text{ref}}}.$

Für den Fall, daß der Phasenverlauf des Sendesignals bekannt ist, werden z.B. in DE 195 33 124 und in der Veröffentlichung von M. Vossiek, P. Heide, M. Nalezinski, V. Mágori, "Novel  
10 FMCW radar system concept with adaptive compensation of phase errors," 26th European Microwave Conference, Prague, Czech Republic, 9.-12. Sept. 1996, S. 135-139, unterschiedliche Verfahren angegeben, wie Phasenfehler entzerrt werden können bzw. wie die Modulation linearisiert werden kann. Grundsätz-  
15 lich bewirken alle Verfahren, daß der Anteil des Meßsignales, der von einem bestimmten reflektierenden Meßobjekt herrührt, in konstanten Zeitintervallen konstante Phasenschritte aufweist. Die Entzerrungs- bzw. Linearisierungs-Verfahren be-  
wirken, daß ihr Ergebnis dem Meßsignal bei Verwendung einer  
20 linearen Modulation entspricht

Bewegen sich Meßobjekt und Sensor relativ zueinander, so wird der entfernungsabhängigen Frequenz  $f_r$  des Meßsignals eine zusätzliche Dopplerfrequenz  $f_d$  additiv überlagert. Das Fre-  
25 quenzspektrum des Meßsignales  $\text{mess}(t)$  verschiebt sich um diese Dopplerfrequenz  $f_d = 2v/\lambda$ , wobei  $v$  die Objektgeschwindigkeit und  $\lambda$  die Wellenlänge des Sendesignals bedeuten. Die Frequenz  $f_m$  eines Meßsignals von einem Objekt, das sich in einem Abstand von dem Sensor relativ dazu bewegt, setzt sich  
30 zusammen aus der entfernungsabhängigen Frequenz  $f_r$  und der Dopplerfrequenz  $f_d$  gemäß  $f_m = f_r + f_d$ . Die Phasen des Meßsignales und eines damit verglichenen Bezugssignales sind nur

6

dann proportional zueinander, wenn auch die Dopplerfrequenzen von Meßsignal ( $f_d$ ) und Bezugssignal ( $f_{dref}$ ) proportional zueinander sind, also  $f_d = f_{dref} \cdot \tau_{mess} / \tau_{ref}$ . Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so wird das Meßsignal im Vergleich mit dem Bezugssignal falsch entzerzt. Je mehr der Phasengang des Meßsignals von der Linearität abweicht, desto breiter ist das Frequenzspektrum des Meßsignals.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Sendesignal mit nichtlinearem, ggf. sogar stark nichtlinearem Phasenverlauf verwendet und der Phasenverlauf des Meßsignals auf mehrere verschiedene Weisen korrigiert (d. h. vorzugsweise linearisiert). Die jeweilige Korrektur wird unter der Annahme vorgenommen, das Meßobjekt besitze eine jeweilige vorgegebene Geschwindigkeit. Man erhält so einen Satz von unterschiedlich korrigierten Meßsignalen zu verschiedenen Geschwindigkeitshypothesen. Für jede Form der Korrektur des Meßsignales wird dann eine Frequenzanalyse (beispielsweise eine Fouriertransformation oder eine andere Spektralanalysemethode) durchgeführt. Bei der Geschwindigkeitshypothese, bei der das beste Korrekturergebnis erzielt wird, kann davon ausgegangen werden, daß die Bedingung  $f_d = f_{dref} \cdot \tau_{mess} / \tau_{ref}$  erfüllt oder zumindest annähernd erfüllt ist. Diese beste Geschwindigkeitshypothese wird im folgenden Optimalhypothese genannt.

Die Güte der Korrektur des Meßsignales wird dadurch angezeigt, daß das Frequenzspektrum des Meßsignales möglichst wenige und deutlich erkennbare einzelne Frequenzen aufweist, die einzelnen Meßobjekten möglichst gut zugeordnet werden können. Im Idealfall ergibt sich für jedes reflektierende Meßobjekt eine einzige Frequenz. Die Korrektur des Meßsignales ist allgemein dann besonders gut, wenn sich möglichst energiereiche, spektral reine Signalkomponenten für die Meßobjekte ergeben. Energiereich heißt dabei, daß die Energie



oder Amplitude der betreffenden Spektrallinie(n) besonders hoch ist, und zwar in der Regel höher ist als bei den übrigen vorgenommenen Entzerrungen des Meßsignales. Als einfache Maßgrößen für die Güte der Entzerrung des Meßsignales können  
5 beispielsweise auch die Breite, die Höhe oder die Verteilung der resultierenden Spektrallinien verwendet werden. Basierend auf der gefundenen Optimalhypothese lassen sich dann aus  
 $f_m = f_r + f_d$  und  $f_d = f_{dref} \cdot \tau_{mess} / \tau_{ref}$  sowohl die Entfernung als auch die Geschwindigkeit des reflektierenden Objektes be-  
10 stimmen.

Die Wahl der nichtlinearen Modulation des Sendesignals ist vorzugsweise so zu treffen, daß bei Verletzung der Bedingung  
 $f_d = f_{dref} \cdot \tau_{mess} / \tau_{ref}$  eine möglichst schlechte Linearisierung  
15 erzielt wird, um so zu gewährleisten, daß sich die Optimalhypothese stark von fehlerhaften Geschwindigkeitshypothesen abhebt. Günstig ist z. B. ein Sendesignal, das eine quadratische Änderung der Meßsignalphase bewirkt, oder ein Sendesignal mit stochastischen Phasenfluktuationen, die über kurze  
20 Zeitintervalle einen näherungsweise linearen Verlauf besitzen. Auch das ohnehin vorhandene Phasenrauschen von Oszillatoren kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren als nichtlineare Modulation eingesetzt werden.

25 Die Korrekturen anhand der Geschwindigkeitshypothesen lassen sich auf unterschiedliche Weise realisieren. Die hypothetischen Dopplerfrequenzen können in das Meßsignal oder in ein Bezugssignal eingerechnet werden. Die Berechnung der Dopplerfrequenzen kann beispielsweise durch Mischen der Signale als  
30 Funktionen der Zeit oder als Funktionen der Frequenz (Fouriertransformierte) erfolgen. Eine derartige Umsetzung der Signale ist als Vorrichtung (hardware) z. B. mit einer Anordnung einer Vielzahl von Mischern realisierbar.

Vorteilhaft ist es, wenn die Kennlinie, d. h. der zeitliche Verlauf der Modulation des Sendesignals bekannt ist. Es kann in diesem Fall auf die Verwendung eines Bezugssignales verzichtet werden. Ist die Kennlinie der Modulation nicht bekannt, besteht eine Möglichkeit zur Bestimmung der Kennlinie darin, das Sendesignal parallel zur Meßstrecke über eine genau definierte Bezugsstrecke zu übertragen. Aus dem so gewonnenen Bezugssignal läßt sich der genaue Frequenz- bzw.

- Phasenverlauf des Sendesignals mittels  $\Delta\Phi(t, \tau)_{mess} = \Delta\Phi(t, \tau)_{ref} \cdot \frac{\tau_{mess}}{\tau_{ref}}$
- bestimmen. Die Bezugsstrecke läßt sich in einer Apparatur vorteilhaft als Verzögerungsleitung z. B. mit einem Oberflächenwellen-Bauelement (SAW) realisieren.

Es folgt eine Beschreibung einer Vorrichtung, mit der das erfindungsgemäße Verfahren ausgeführt werden kann, anhand der Figuren 1 bis 3.

Die Figuren zeigen Blockschaltbilder von Sensorsystemen, die für das erfindungsgemäße Verfahren geeignet sind.

- In Figur 1 ist ein modulierbarer Oszillator MO eingezeichnet, der z. B. über eine Ansteuereinheit PA, in der ein Modulationssignal generiert wird, in seiner Frequenz verstimmt wird. Das Sendesignal wird über die Sende- und Empfangseinheit SEE abgestrahlt, von einem Meßobjekt reflektiert und von der Sende- und Empfangseinheit SEE aufgenommen. In Figur 1 ist als Beispiel eine bistatische Anordnung dargestellt, in Figur 2 eine monostatische Anordnung, bei der Sende- und Empfangssignal mit einer Sende- und Empfangsweiche voneinander getrennt werden. In dem Mischer MI wird das Empfangssignal  $r(t)$  mit dem aktuellen Sendesignal  $s(t)$  gemischt und anschließend vorzugsweise mit einem Tiefpaßfilter TP1 gefiltert. Als Ergebnis entsteht ein Meßsignal  $mess(t)$ , das einer Auswerteeinheit AE zugeführt wird, die vorzugsweise über Analog-Digital-Wandler und einen Digitalsignalprozessor verfügt.

- Ein Teil des Sendesignals  $s(t)$  wird abgezweigt in eine Bezugseinrichtung V, die dafür vorgesehen ist, ein Bezugssignal zu erzeugen. In dem Ausführungsbeispiel der Figur 1 ist diese
- 5 Bezugseinrichtung mit einer Verzögerungsleitung  $\tau$ , wozu beispielsweise ein Oberflächenwellenbauelement eingesetzt werden kann, gebildet. Das verzögerte Signal wird mit dem nicht verzögerten Signal in dem Mischer RMI gemischt zu dem Bezugssignal  $ref(t)$ , das vorzugsweise in einem sich anschließenden
- 10 Tiefpaßfilter TP2 gefiltert wird. Bezugs- und Meßsignal werden vorzugsweise einer digitalen Signalauswertung in der Auswerteeinheit zugeführt, die dazu mit Analog-Digital-Wandlern A/D und einem Digitalsignalprozessor ausgestattet ist.
- 15 Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Modulationskennlinie des Sendesignals besteht darin, die Momentanfrequenz des Sendesignals direkt zu messen. Üblicherweise werden hierzu Frequenz-Spannungs-Umsetzer oder Phasenregelkreise eingesetzt. Eine entsprechende Ausführungsform zeigt Figur 2. Die
- 20 Bezugseinrichtung V besteht hier aus einem Mischer und einem Frequenz-Spannungs-Umsetzer. Hohe Frequenzen des Sendesignales  $s(t)$  werden mit Hilfe eines Lokalszillators LO auf niedrigere Frequenzen herabgemischt, bevor sie dem eigentlichen Frequenz-Spannungs-Umsetzer f/U zugeführt werden.
- 25 Aus der so erzeugten Bezugsspannung  $U_{ref}(t)$ , die proportional zur momentanen Signalfrequenz ist, läßt sich das Bezugssignal oder eine Vorschrift, wie die Linearisierung vorzunehmen ist, ableiten.
- 30 Mit dieser Anordnung wird das erfindungsgemäße Verfahren z. B. in der Weise realisiert, daß zunächst ein Bezugssignal für ein relativ zum Sensor ruhendes Meßobjekt bestimmt wird. Daraus wird ein Satz von speziellen Bezugssignalen dadurch
- 35 bestimmt, daß unterschiedliche Dopplerfrequenzen  $f_{dref}$  für verschiedene Geschwindigkeiten des Meßobjektes in das Be-

zugssignal eingerechnet werden. Das Meßsignal wird mit jedem der speziellen Bezugssignale linearisiert. Für jedes der so linearisierten Meßsignale wird dann das Frequenzspektrum z. B. mittels Fourieranalyse berechnet. Es wird ein Maß definiert, das die Güte der erzielten Korrektur des Meßsignales bewertet, und dieses Maß wird dazu verwendet, anhand des Frequenzspektrums zu entscheiden, welche der hypothetischen Dopplerfrequenzen am besten mit der tatsächlichen Geschwindigkeit eines Meßobjektes übereinstimmt. Es werden (z. B. unter Verwendung einer graphischen Darstellung) alle ausgeprägten Maxima des Frequenzspektrums in Abhängigkeit einerseits von der Mittenfrequenz des Meßsignales ( $f_m$ ) und andererseits von der eingerechneten Dopplerfrequenz ( $f_{dref}$ ) sowie die Werte dieser Frequenzen  $f_m$  und  $f_{dref}$ , bei denen die Maxima liegen, bestimmt. Es werden dazu praktisch diejenigen Maxima bestimmt, die über einem vorgegebenen Wert (Rauschschwelle) liegen und die bei geringen Abweichungen von den zugehörigen Frequenzen  $f_m$  und  $f_{dref}$  eines jeweiligen Maximums bereits deutlich abfallen. Jedes ausgeprägte Maximum wird einem Objekt zugeordnet, dessen Entfernung und Geschwindigkeit dann aus  $f_r = f_i = \mu\tau(2\pi)^{-1}$ ,  $f_d = 2v/\lambda$ ,  $f_m = f_r + f_d$  und  $f_d = f_{dref} \tau_{mess}/\tau_{ref}$  berechnet wird.

Aus dem Bezugssignal kann eine Korrekturvorschrift zur Eliminierung der Phasenfehler wie oben beschrieben abgeleitet werden. Ein Meßsignal kann basierend auf unterschiedlichen Geschwindigkeitshypothesen zu einem Satz von unterschiedlich dopplerverschobenen Meßsignalen erweitert werden. Alle Meßsignale dieses Satzes können dann mit der Korrekturvorschrift entzerzt werden und diejenige Geschwindigkeitshypothese bestimmt werden, für die sich das beste Ergebnis einstellt. Es können auch zu unterschiedlichen Geschwindigkeitshypothesen zugehörige Korrekturvorschriften ermittelt werden. Zu diesem Zweck werden unterschiedliche Dopplerfrequenzen in das Bezugssignal eingerechnet und dazu jeweils Korrekturdatensätze

- zur Entzerrung des Meßsignales berechnet. Damit erhält man zu jeder hypothetischen Geschwindigkeit eine Korrekturvorschrift. Das Meßsignal wird mit jeder dieser Korrekturvorschriften entzerrt. Das beste Resultat ergibt sich für die optimale Geschwindigkeitshypothese. Dieser Satz von Korrekturvorschriften zu unterschiedlichen Geschwindigkeitshypothesen kann abgespeichert werden und für jede neue Messung verwendet werden.
- 10 Wenn die Kennlinie der nichtlinearen Modulation des Sendesignals bekannt ist oder wenn ein Satz von Korrekturvorschriften z. B. in der Auswerteeinrichtung gespeichert ist, genügt der vereinfachte Aufbau des Sensorsystems nach Figur 3. Die Auswerteeinrichtung AE ist in diesem Fall dafür vorgesehen,
- 15 in Abhängigkeit von vorgegebenen Frequenzverschiebungen verschiedene Korrekturen des Meßsignales zu berechnen derart, daß das Ergebnis dem Meßsignal bei Verwendung einer linearen Modulation entspricht. In der Auswerteeinrichtung wird daraus diejenige Geschwindigkeit des Meßobjektes berechnet, die eine
- 20 Frequenzverschiebung des Meßsignales als Dopplerverschiebung bewirkt, für die die zugehörige Korrektur des Meßsignales ein Frequenzspektrum der Modulation liefert, das ein vorgegebenes Gütekriterium erfüllt.
- 25 Bei einer probeweisen Durchführung des Verfahrens ergaben sich für die Messung zweier Objekte, die sich in einer Entfernung von 125 m und 250 m befanden und eine Geschwindigkeit von 30 m/s bzw. 16 m/s aufwiesen, mit einem Sensorsystem, bei dem die Trägerfrequenz von 76 GHz innerhalb einer Bandbreite
- 30 von 180 MHz moduliert wurde, zwei deutlich hervortretende Maxima. Das verwendete Sensorsystem besaß eine Verzögerungseinrichtung mit einem Oberflächenwellenbauelement, das eine Zeitverzögerung von 3,3  $\mu$ s bewirkte. Die Maxima liegen bei der Mittenfrequenz ( $f_m$ ) 45,2 kHz bzw. 68,2 kHz und der errechneten Dopplerfrequenz ( $f_{dref}$ ) 61 kHz bzw. 17 kHz. Rechnet
- 35

net man diese Werte in reine Entfernungs- und Dopplerfrequenzen um, so ergeben sich die Dopplerfrequenzen zu 15,2 kHz bzw. 8,5 kHz (entsprechend Geschwindigkeiten von 30,06 m/s bzw. 16,7 m/s) und die entfernungsabhängigen Frequenzen zu 30,0 kHz bzw. 59,7 kHz (entsprechend Entfernungen von 124,9 m bzw. 248,9 m).

Statt eines frequenzmodulierten Mikrowellenradar kann ein frequenzmoduliertes Lidar oder Sonar verwendet werden. Es kann auch mindestens eine weitere Mischeinrichtung vorhanden sein, die so angeordnet und beschaffen ist, daß mit ihr das Sendesignal, das Empfangssignal, das Meßsignal oder ein Bezugssignal mit einer weiteren Frequenz gemischt werden kann. Dafür sind entsprechende Mittel, z. B. ein Lokaloszillator, vorgesehen, mit denen mindestens eine vorgegebene Frequenz erzeugt und dieser weiteren Mischeinrichtung zugeführt werden kann.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung, bei dem
  - 5 - mit einem FMCW-Sensorsystem frequenzmodulierte Sendesignale ausgesendet werden und Meßsignale aufgenommen werden, die eine Frequenzmodulation aufweisen, die von dem Wert oder den Werten der zu messenden Größe oder Größen abhängt,
  - die Modulation der Sendesignale von einer linearen Modulation abweichend vorgenommen wird,
  - 10 - für verschiedene hypothetische Dopplerfrequenzen, die zu verschiedenen Geschwindigkeiten eines Meßobjektes gehören, eine rechnerische Korrektur des Meßsignals derart vorgenommen wird, daß das Ergebnis dem Meßsignal bei Verwendung einer linearen Modulation entspricht, und
  - 15 - die Geschwindigkeit ermittelt wird, die zu derjenigen hypothetischen Dopplerfrequenz gehört, für die sich aus dem korrigierten Meßsignal ein Frequenzspektrum von mindestens einer vorgegebenen Ausprägung ableiten läßt.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem
  - ein Bezugssignal erzeugt wird, das so beschaffen ist, daß sich damit das Meßsignal rechnerisch entsprechend einer Linearisierung der Modulation korrigieren läßt, und
  - 25 - die hypothetischen Dopplerfrequenzen in das Meßsignal oder in das Bezugssignal eingerechnet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem ein gegenüber dem Sendesignal zeitverzögertes Signal zu dem  
30 Bezugssignal verarbeitet oder mit dem Sendesignal zu dem Bezugssignal gemischt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem

als Bezugssignal eine von der Frequenz des Sendesignales abhängige elektrische Spannung erzeugt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem
- 5 für verschiedene hypothetische Dopplerfrequenzen, die zu verschiedenen Geschwindigkeiten eines Meßobjektes gehören, ein Satz aus Korrekturvorschriften berechnet und abgespeichert und für die Korrektur mehrerer Meßsignale verwendet wird.
- 10 6. Vorrichtung zur berührungslosen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung, bei der
- eine Signalquelle (MO) zur Erzeugung eines sich wellenförmig ausbreitenden frequenzmodulierten Signals, dessen Modulation von einer linearen Modulation abweicht, vorhanden
  - 15 ist,
  - eine Sende- und Empfangseinrichtung (SEW, SEE) und eine Mischeinrichtung (MI) vorhanden sind,
  - diese Mischeinrichtung so angeordnet ist, daß sie ein von der Sende- und Empfangseinrichtung kommendes Signal mit dem
  - 20 von der Signalquelle erzeugten Signal zu einem Meßsignal mischen kann, und
  - eine Auswerteeinrichtung (AE) vorhanden ist, die dafür vorgesehen ist, in Abhängigkeit von vorgegebenen Frequenzverschiebungen verschiedene Korrekturen des Meßsignales zu be-
  - 25 rechnen derart, daß das Ergebnis dem Meßsignal bei Verwendung einer linearen Modulation entspricht, und
  - daraus eine Geschwindigkeit des Meßobjektes zu berechnen, die eine Frequenzverschiebung des Meßsignales als Doppler-
  - verschiebung bewirkt, für die die zugehörige Korrektur des
  - 30 Meßsignales ein Frequenzspektrum liefert, das ein vorgegebenes Gütekriterium erfüllt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, bei der



15

eine Bezugseinrichtung (V) vorhanden ist, die so angeordnet und beschaffen ist, daß sie aus dem von der Signalquelle kommenden Signal ein von dem zeitlichen Phasenverlauf des Sendesignals abhängiges Bezugssignal erzeugen kann.

5

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei der die Bezugseinrichtung (V) eine Verzögerungsleitung ( $\tau$ ) umfaßt, die ein gegenüber dem Sendesignal zeitverzögertes Signal liefert.

10

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei der die Bezugseinrichtung (V) einen Frequenz-Spannungs-Umsetzer ( $f/U$ ) umfaßt, der die Frequenz des Sendesignals in eine elektrische Spannung als Bezugssignal umwandelt.

15

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, bei der mindestens eine weitere Mischeinrichtung vorhanden ist, die so angeordnet und beschaffen ist, daß mit ihr das Sendesignal, das Empfangssignal, das Meßsignal oder ein Bezugssignal mit einer weiteren Frequenz gemischt werden kann, und Mittel vorgesehen sind, mit der eine vorgegebene Frequenz erzeugt und dieser weiteren Mischeinrichtung zugeführt werden kann.

20

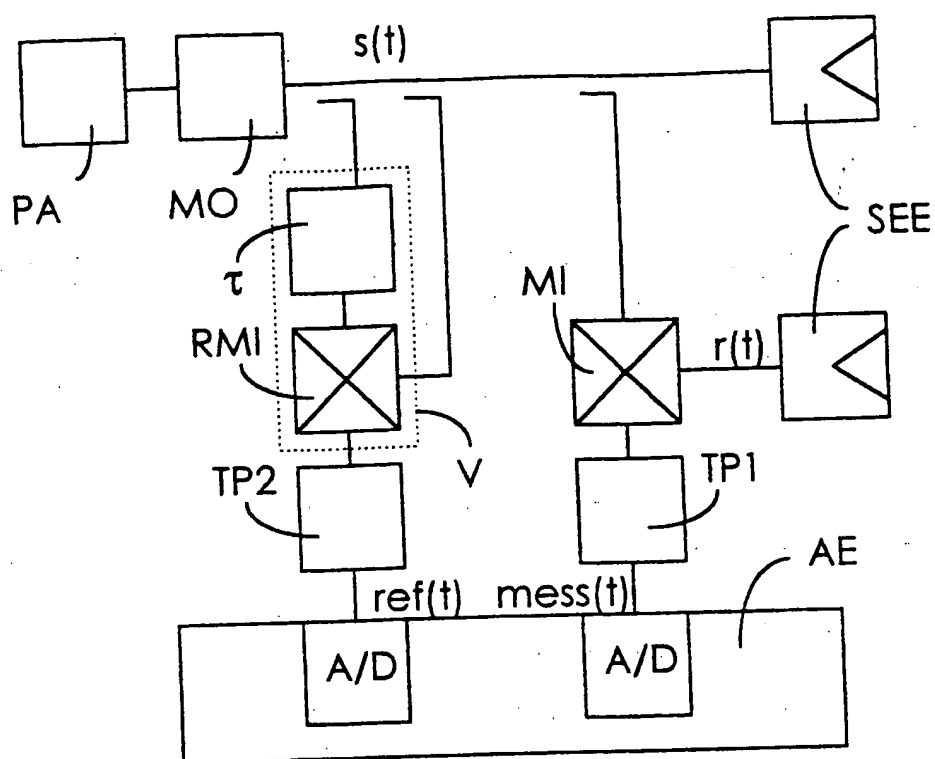
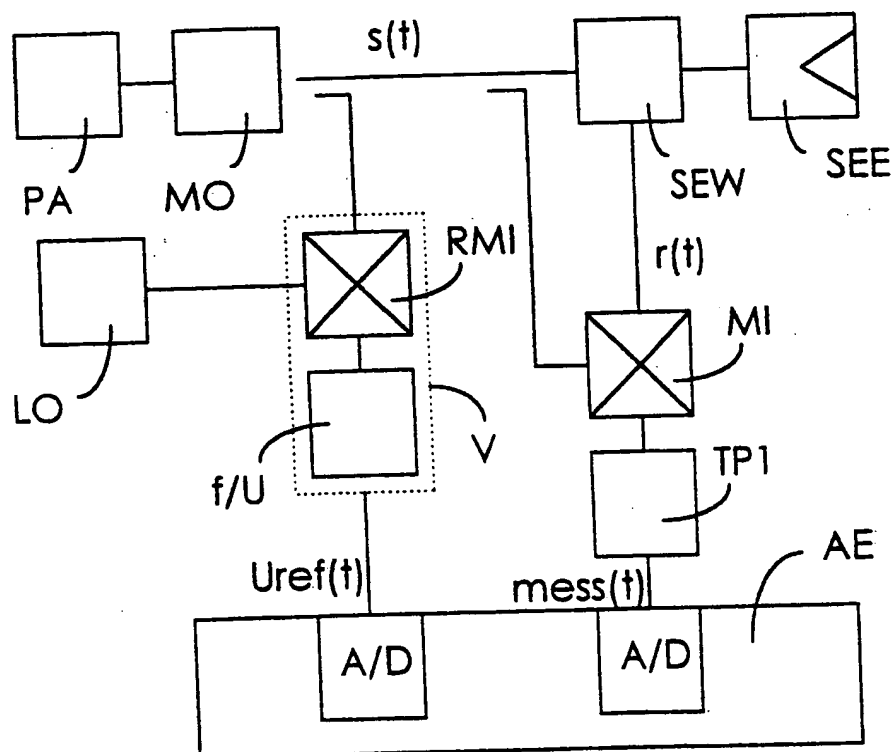


Fig 1



Fig<sup>F</sup> 2.

2/2

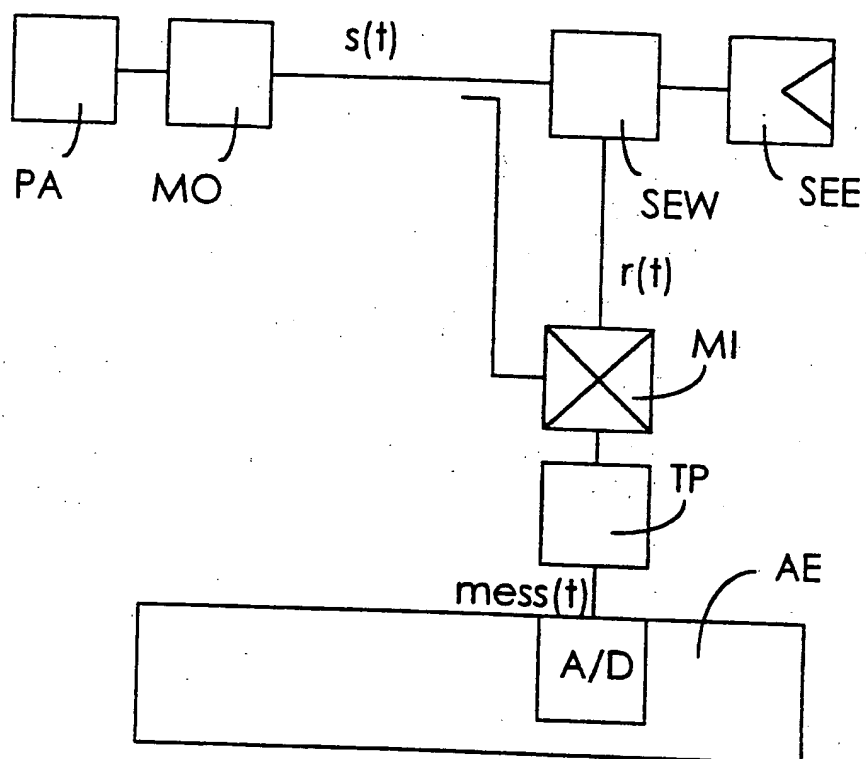


Fig 3

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 98/00418

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 G01S7/40 G01S13/58

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 95 28652 A (UNIV QUEENSLAND ; LONGSTAFF IAN DENNIS (AU); NOON DAVID ANDREW (AU)) 26 October 1995 see the whole document ---	1,6
A	WO 92 18876 A (ENDRESS HAUSER GMBH CO) 29 October 1992 see the whole document ---	1,4,6,9
A	EP 0 654 679 A (HUGHES AIRCRAFT CO) 24 May 1995 see the whole document -----	1,6

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 June 1998

Date of mailing of the international search report

07/07/1998

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Zaccà, F

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 98/00418

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9528652 A	26-10-1995	AU 2209995 A ZA 9503125 A	10-11-1995 09-01-1996
WO 9218876 A	29-10-1992	DE 59207284 D EP 0535196 A JP 2583723 B JP 5509169 T US 5387918 A	07-11-1996 07-04-1993 19-02-1997 16-12-1993 07-02-1995
EP 0654679 A	24-05-1995	AU 668489 B AU 7779094 A CA 2136035 A JP 7234275 A	02-05-1996 27-07-1995 19-05-1995 05-09-1995

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

ationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/00418

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 G01S7/40 G01S13/58

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 95 28652 A (UNIV QUEENSLAND ; LONGSTAFF IAN DENNIS (AU); NOON DAVID ANDREW (AU)) 26. Oktober 1995 siehe das ganze Dokument	1,6
A	WO 92 18876 A (ENDRESS HAUSER GMBH CO) 29. Oktober 1992 siehe das ganze Dokument	1,4,6,9
A	EP 0 654 679 A (HUGHES AIRCRAFT CO) 24. Mai 1995 siehe das ganze Dokument	1,6

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:  
 "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist  
 "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist  
 "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)  
 "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht  
 "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. Juni 1998

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/07/1998

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Zaccà, F

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 98/00418

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9528652 A	26-10-1995	AU 2209995 A	10-11-1995
		ZA 9503125 A	09-01-1996
WO 9218876 A	29-10-1992	DE 59207284 D	07-11-1996
		EP 0535196 A	07-04-1993
		JP 2583723 B	19-02-1997
		JP 5509169 T	16-12-1993
		US 5387918 A	07-02-1995
EP 0654679 A	24-05-1995	AU 668489 B	02-05-1996
		AU 7779094 A	27-07-1995
		CA 2136035 A	19-05-1995
		JP 7234275 A	05-09-1995

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

### **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**